

Sonderdruck aus

DIE ERDE

Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 107. Jahrgang,
1976, Heft 4, S. 330—352

Blockgletscher- und Blockzungen-Generationen am Nevado de Toluca, Mexiko*

Von

Klaus Heine (Bonn)

Mit 6 Figuren, 4 Bildern und 1 Tabelle

Summary: Generations of rock glaciers and ice-cored moraines on Nevado de Toluca Volcano, Mexico.

Up to now no records exist about rock glaciers in Mexico. There are two different types of rock glaciers on Nevado de Toluca volcano (4558 m): (a) rock glaciers (Blockgletscher) that occur beneath steep walls, where they are supplied with debris by avalanche couloirs; during cooler and wetter climatic episodes these rock glaciers were active due to interstitial ice which resulted from the metamorphism of snow buried beneath rock-fall debris. (b) The second type is believed to represent the debris-covered tongues of former glaciers (ice-cored moraines, Blockzungen). Three generations of rock glaciers and ice-cored moraines have been observed. The rock glaciers and ice-cored moraines are entirely stabilized. The latest generation (I) consists of rock glaciers which were in active movement during the 'Little Ice Age'. The second generation (II) mainly consists of rock glaciers, too, which were formed about 2000 (to 3000) a B. P. The oldest generation (III) shows inactive ice-cored moraines which date back to about 8500 to 9000 a B. P. The determination of the three episodes of formation of rock glaciers and ice-cored moraines is based on field observations as well as the elaborated Postglacial climatic chronology of the Mexican Highland. The occurrence of permafrost is not necessary for the formation of rock glaciers and ice-cored moraines according to the observations on Nevado de Toluca volcano and to the results of paleoclimatic research. Some considerations about the shifts of the snowline in Postglacial times are presented.

1. Einleitung

Der Vulkan des Nevado de Toluca (Xinantécatl) liegt im Bereich des mexikanischen Vulkangürtels [MOOSER 1969] etwa 80 km westsüdwestlich von Mexiko-Stadt (Fig. 1). Mit 4558 m Höhe ist er das vierthöchste Vulkangebirge Mexikos. Der Nevado de Toluca ist ein stark erodierter, polygenetischer, zentraler Stratovulkan, der zum größten

*) Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für eine großzügige Reise- und Sachbeihilfe. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen des Mexiko-Projektes der DFG; vielen Mitarbeitern möchte ich an dieser Stelle für Diskussionen danken. Auf mühevollen Bergwanderungen begleiteten mich u. a. Dr. K. JÄCKLEIN und G. WERNER. Danken möchte ich auch Professor Dr. M. A. GEYH (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung in Hannover) für verschiedene ¹⁴C-Altersbestimmungen sowie Frau E. MARCHAL (Geographisches Institut in Bonn) für Labor-Sedimentuntersuchungen.

Teil aus dacitischen und andesitischen Laven aufgebaut wird [BLOOMFIELD und VALASTRO 1974]; die Hänge werden von verschiedenen mächtigen jungpleistozänen Lahar-Ablagerungen (bei Vulkanausbrüchen entstehende Schlammströme) sowie von fluvialen, glazialen und äolischen Sedimenten bedeckt, die oft von weitverbreiteten Bims-lagen überzogen werden. Jüngere Lavaströme aus andesitischem Basalt von pleistozänem und holozänem Alter sind an der Ostflanke des Massivs zu finden. In dem Gipfel des Nevado de Toluca befindet sich ein großer, gut erhaltener Kraterkessel mit zwei Lagunen in rund 4206 bis 4216 m Höhe (*Bild 1*); zwischen beiden Lagunen erhebt sich der El Ombigo, ein dacitischer Pfropfen, der den zentralen Vulkanschlott blockiert [BLOOMFIELD und VALASTRO 1974].

In der morphologischen Literatur findet der Nevado de Toluca bisher wenig Beachtung. LORENZO [1969] berichtet von Periglazialerscheinungen an dem Vulkan und HEINE [1975] von Gletscherspuren (*vgl. Fig. 2*). Blockströme¹⁾ (Blockgletscher und Blockzungen) sind vom Nevado de Toluca noch nicht beschrieben worden, obgleich verschiedene Blockstrom-Generationen an den Nord-, West- und Südhängen des Vulkans anzutreffen sind. Diese wurden vom Verfasser 1974 und 1975 eingehender studiert.

2. Beschreibung der Blockströme

Folgende Blockstromtypen lassen sich unterscheiden [nach WILHELM 1975; *vgl. auch* GRÖTZBACH 1965; OUTCALT und BENEDICT 1965]:

1. Blockgletscher
2. Blockzungen

Zu 1: Die Blockgletscher befinden sich am Nevado de Toluca unterhalb größerer Schutthalden (*Bild 3*) oder unmittelbar am Fuß steiler Felswände (*Bild 4, Fig. 5*), doch treten sie nur dort auf, wo unterhalb der Schutthalden bzw. der Felswände ein flacherer Hang existiert, auf den sich der entstehende Blockgletscher vorschieben konnte. Der auslösende Faktor der Blockgletscherbildung ist die Schuttproduktion. An der Stirn ist das Blockgletschermaterial in der Regel durch steile Böschungen von dem umgebenden Gelände abgesetzt. Hinter diesem Stirnwall folgen weitere Wälle und Rinnen, so daß die Blockgletscherform an Bewegungen zähflüssiger Massen [BARSCH 1969 a] erinnert. Häufig werden die Blockgletscher seitlich von Rinnen begrenzt, die zwischen den

¹⁾ Die Begriffe „Blockstrom“, „Blockgletscher“ und „Blockzunge“ werden wie bei WILHELM [1975] benutzt: Blockströme (dies ist der Oberbegriff) werden im wesentlichen auf zwei Entstehungsursachen zurückgeführt: (1) aus einer sehr kräftigen Moränenanhäufung gegen das Zungenende von Gletschern (Blockzungen) und (2) unabhängig von aktiven Gletschern als reine Schuttbewegung, die der der Gletscher ähnlich ist (Blockgletscher). Bei den hier beschriebenen Blockströmen handelt es sich um fossile (inaktive) Formen; dennoch wird von „Blockströmen“ etc. und nicht von „fossilen Blockströmen“ gesprochen. Es ist in der vorliegenden Arbeit absichtlich vermieden worden, die Diskussion über die Begriffe erneut aufzunehmen.

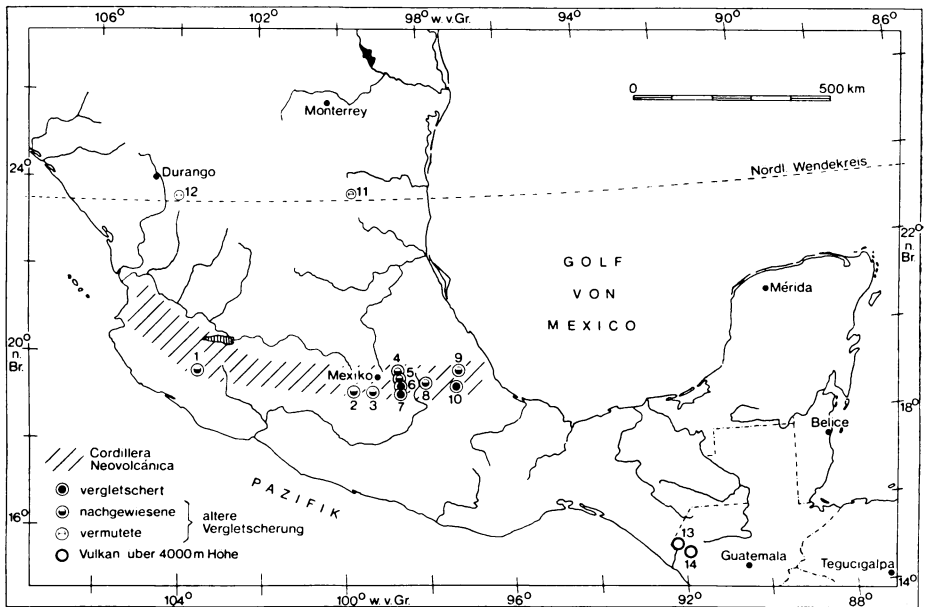


Fig. 1. Übersichtskärtchen der höchsten Berge Mexikos. 1 = Nevado de Colima (4180 m), 2 = Nevado de Toluca (4558 m), 3 = Ajusco (3952 m), 4 = Tláloc (4160 m), 5 = Telapón (4200 m), 6 = Iztaccíhuatl (5286 m), 7 = Popocatepetl (5452 m), 8 = Malinche (4461 m), 9 = Cofre de Perote (4282 m), 10 = Pico de Orizaba (5700 m), 11 = Cerro Peña Nevada (4056 m), 12 = Bergland von Durango (bis 3559 m), 13 = Tacaná (4064 m), 14 = Tajumulco (4210 m).

Blockgletschern und steileren Hängen liegen können (*Bild 4*). Es gibt aber auch girlandenförmige Blockgletscher.

Am Nevado de Toluca haben die Blockgletscher unterschiedliche Größen (*Fig. 2*). Die kleinsten Formen befinden sich am Fuß der Schutthalden, so im Krater (*Bild 1*) oder am Nordost-Hang (*Bild 3*). Die wulstartigen Stirnwälle erreichen nur Höhen von 10 bis 30 m gegenüber den sie umgebenden Hängen. Zwei größere Blockgletscher, bis zu 300 und 500 m lang, befinden sich am Nordwest-Hang des Vulkans (*Fig. 2 u. 3., Bild 4*). Ältere Blockgletscher können die doppelte Länge haben. Über die Dicke der Blockgletscher lassen sich keine genauen Angaben machen; an der Stirn sind sie zwischen wenigen Metern und ca. 40 m mächtig. Da häufig jüngere Blockgletscher-Generationen über ältere gewandert sind, kann die Gesamtmächtigkeit des Blockgletscherschuttes ein Mehrfaches der Dicke des einzelnen Stromes ausmachen. Die feinere Gestaltung der Oberflächen der Blockgletscher wird von Längs- und Querwällen und -rinnen sowie von Wülsten und aufgetürmten Blockpackungen bestimmt.

Blockgletscher befinden sich am Nord-, Nordwest- und Südhang des Nevado de Toluca in Höhen zwischen rund 4400 und 4100 m. Sie zeigen keine Expositionsabhän-

gigkeit, jedoch scheinen die kleineren Blockgletscher (Blockloben) bevorzugt in Nordauslage aufzutreten.

Das die Blockgletscher aufbauende Material besteht an der Oberfläche ausschließlich aus großen Blöcken (bis einige Meter Durchmesser); in tieferen Teilen der Blockgletscher scheint das Feinmaterial etwas zuzunehmen.

Aus der kurzen Charakterisierung geht hervor, daß die Blockgletscher des Nevado de Toluca viele der morphologischen Eigenschaften aufweisen, wie sie für Blockgletscher von verschiedenen Autoren beschrieben worden sind [BARSCH 1969 a+b; WHITE 1971; OUTCALT und BENEDICT 1965; GRÖTZBACH 1965; KLAER 1974; SMITH 1973; JOHNSON 1974; ØSTREM 1974].

Zu 2: Ein anderer Blockstromtyp, die Blockzungen [GRÖTZBACH 1965], scheint aus vollkommen schuttbeladenen Gletschern [Typ 3 — Sonderform nach BARSCH 1969 a] hervorgegangen zu sein. Die Oberfläche dieser Blockzungen ist recht unübersichtlich und — im Vergleich zu den Blockgletschern — ungeordnet; die regelmäßigen zungenartigen Fließstrukturen lassen sich nicht mehr bei einzelnen Blockzungen erkennen; aus dem Luftbild (*Bild 2*) und der Karte (*Fig. 2*) geht hervor, daß die Blockgletscher keine expositionsabhängige Verbreitung aufweisen, während die Blockzungen am Nord- und Nordwest-Hang nördlich der Fahrstraße weit verbreitet sind; sie kommen aber auch am Südwest-Hang unterhalb des 4558 m hohen Gipfelmassivs vor. Die Untergrenze der Blockzungen-Verbreitung liegt bei rund 4000 m Höhe im Bereich der oberen Waldgrenze. Die Obergrenze ist nicht auszumachen, da die Blockzungen in ihren oberen Teilen stets von jüngeren Blockgletschern oder jüngerem Schutt bedeckt werden. Das Material ist im Vergleich zu dem Grobblock-Schutt der Blockgletscher wesentlich stärker von feineren Komponenten, die in der Mehrzahl faust- bis kopfgroß sind, durchsetzt; auch nimmt der Anteil der Kies- und Sandfraktion bedeutend zu. In den Ablagerungen der Blockzungen wurden wiederholt vom Eis gekritzte Gesteine gefunden, weshalb diese Bildungen früher auch als Moränen gedeutet wurden [HEINE 1975]. Infolge ihres relativ hohen Alters (s. u.) sind die ursprünglichen Formen der Blockzungen nur andeutungsweise zu erkennen. Am Nordhang sind die Wurzelhohlformen, langgestreckte Furchen zwischen Wällen, noch besonders gut erhalten [vgl. GRÖTZBACH 1965; WHITE 1971]. In vielen Fällen, so beispielsweise bei den ältesten Blockströmen auf der Südflanke des Nevado de Toluca, lassen sich jedoch keine begründeten Unterschiede hinsichtlich der Einteilung in Blockzungen einerseits und Blockgletscher andererseits erkennen.

3. Genese der Blockströme des Nevado de Toluca

Am Nevado de Toluca zeigen weder die Blockgletscher noch die Blockzungen Spuren rezenter Bewegungen. Aktive Blockströme scheint es dort unter den heutigen Klimabedingungen, die aus *Fig. 4* zu entnehmen sind, nicht zu geben. Auch die frischen Formen der Blockgletscher werden von Gesteinsblöcken aufgebaut, die an den freiliegenden Flächen immer von Flechtenbewuchs gekennzeichnet werden, während die nach unten gekehrten Seiten der Blöcke flechtenlos sind. Niemals wurden an den Blockunterseiten

lebende oder abgestorbene Flechten beobachtet, die eine Blockbewegung in jüngster Zeit vermuten ließen. Auch Hinweise auf Bodengefrorenis, d. h. das Jahr überdauerndes Eis innerhalb des Blockstromkörpers, konnten nicht gefunden werden. Bodentemperaturmessungen an verschiedenen Tagen im Februar, März und April 1975 ergaben in 4220 m Höhe am Nevado de Toluca in 1,0 m Bodentiefe Tages-Minimumtemperaturen zwischen $+2^{\circ}\text{C}$ und $+4^{\circ}\text{C}$. Während der Sommermonate 1974, d. h. während der Zeit möglicher Ablationsvorgänge, wurde an keiner Stelle im Bereich der Blockströme aus diesen austretendes Schmelzwasser gefunden. Eis, das zur Bildung und zur Bewegung der Blockgletscher wie auch der Blockzungen unbedingt notwendig sein dürfte [BARSCH 1969 a+b; WILHELM 1975], ist in dem Blockstrommaterial am Nevado de Toluca nach den bisherigen Beobachtungen nicht mehr vorhanden²⁾.

Die Genese der Blockgletscher ist nur unter der Annahme erklärbar, daß die an Feinmaterial armen Grobblock-Schuttmassen zur Zeit der Bewegungsvorgänge in eine unter dem Eigengewicht der Blöcke plastisch reagierende Masse eingebacken waren. Da Feinmaterial in ausreichender Menge fehlt und da auch keine Anzeichen einer späteren Feinmaterial-Auswaschung bestehen, muß als plastisch reagierendes Bindemittel Eis in ausreichender Menge angenommen werden. Die Ursache der Blockgletscherbildung und -bewegung läßt sich demnach nicht auf „Durchtränkungsfließen“ im Sinne HÖLLER-

²⁾ Am Pico de Orizaba (ca. 5700 m Höhe) wurde in 4650 m Höhe unter einem 0,5 m mächtigen Schuttmantel Gletschereis des 1850er Vorstoßes angetroffen. An diesem Vulkan finden wir die gleichen Verhältnisse, wie sie auch VON KLAER [1974] aus dem Taurus beschrieben werden.

Fig. 2. Morphologische Skizze des Nevado de Toluca. Als Grundlage dienten nicht entzerrte Luftbilder; an steilen Hängen ergibt sich eine starke Verkürzung der Objekte.

- 1 = Schutthalden i. w. S., rezente Abtragung durch Zusammenwirken von physikalischer Verwitterung, Kammeisauffrieren und schwerkraftbedingtem Transport,
- 2 = Blockstrom (Blockgletscher) der Generation I (jüngste Phase),
- 3 = Blockstrom (Blockgletscher) der Generation I (ältere Phase),
- 4 = Blockstrom (Blockgletscher und Blockzunge?) der Generation II,
- 5 = Blockstrom (Blockzunge und Blockgletscher?) der Generation III,
- 6 = (Nivations-?) Tälchen und Rücken im Schutt,
- 7 = M III 1 + 2-Moräne,
- 8 = fragliche M III 1 + 2-Moräne,
- 9 = glazial geformtes Tal,
- 10 = Grundmoränenschutt (M III 1 + 2),
- 11 = Rundhöcker,
- 12 = anstehender Fels,
- 13 = Lavadom, vulkanischer Pfropfen,
- 14 = Grat,
- 15 = ‚Tiefenlinie‘, Tal, Barranca,
- 16 = obere Waldgrenze (ca. 4000 m),
- 17 = See,
- 18 = trockenengefallener See,
- 19 = Fahrstraße,
- 20 = (Klima-)Hütte.

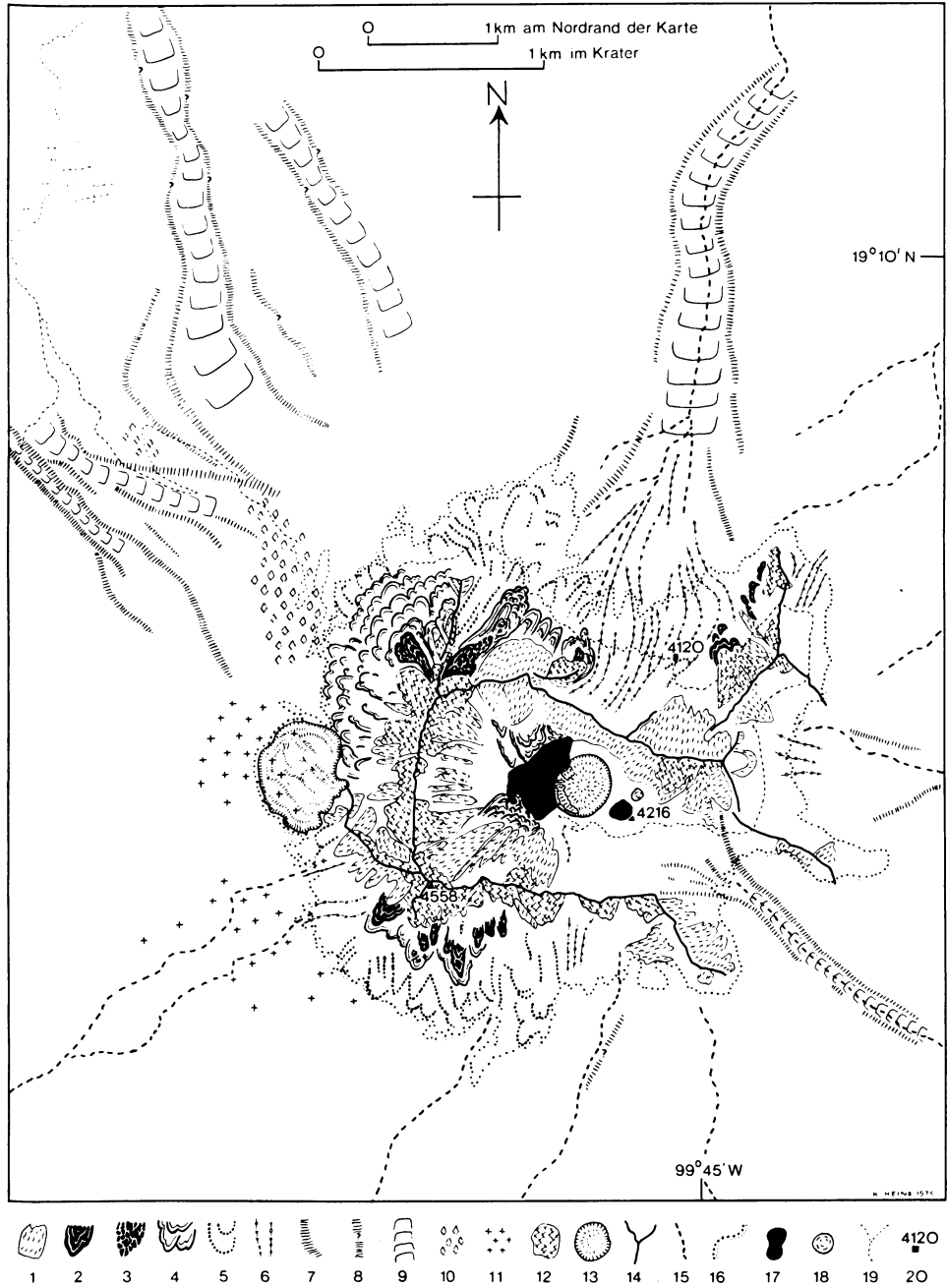


Fig. 2. (vgl. Erläuterungen, p. 50)

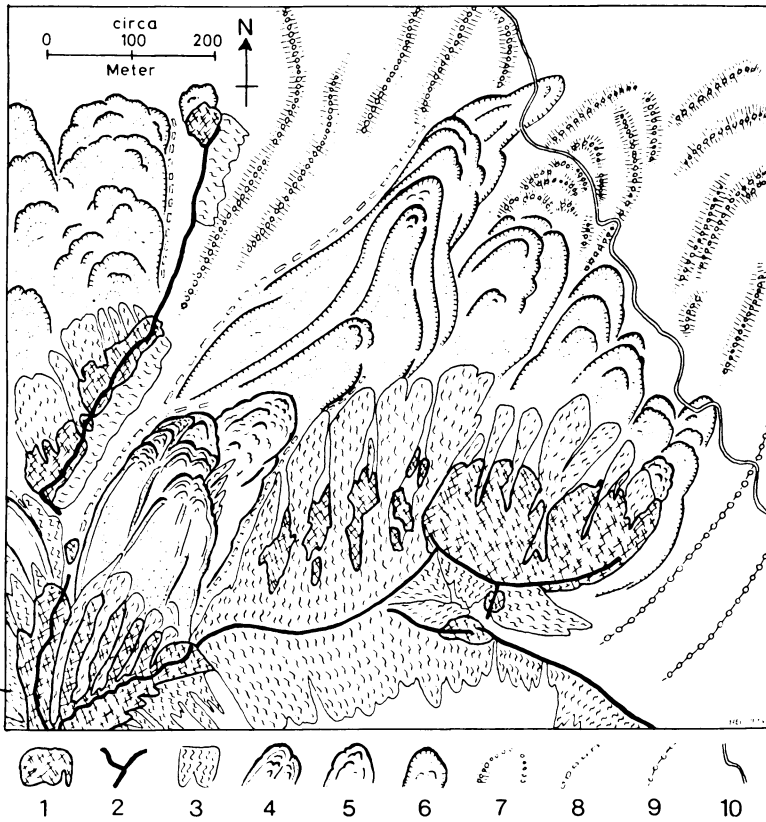


Fig. 3. Morphologisches Kärtchen der Blockstrom-Generationen am Nordhang des Nevado de Toluca. Als Grundlage dienten nicht entzerrte Luftbilder.

- 1 = anstehender Fels,
- 2 = Grat,
- 3 = Schutthalden i. w. S.,
- 4 = Blockstrom (Blockgletscher) der Generation I (jüngste Phase),
- 5 = Blockstrom (Blockgletscher) der Generation I (ältere Phase),
- 6 = Blockstrom (Blockgletscher und Blockzunge?) der Generation II,
- 7 = Blockstrom (Blockzunge und Blockgletscher?) der Generation III,
- 8 = seitliche Blockgletscher-Rinne,
- 9 = (Nivations-)Tälchen und Rücken im Schutt,
- 10 = Fahrstraße.

MANNS [1964] zurückführen. Es ist zu vermuten, daß während kühlerer und möglicherweise feuchterer Klimabedingungen der durch physikalische Verwitterung anfallende Blockschutt ständig in Schnee eingebettet wurde, der sich zu Firn und schließlich Eis umwandeln konnte. Nur so ist es zu verstehen, daß viele Blockgletscher am Nevado de



Bild 1. Blick von Nordwesten in den Kraterkessel des Nevado de Toluca. Vorn erkennt man die rezenten Abtragungsvorgänge (physikalische Verwitterung + Kammeisauffrieren + schwerkraftbedingten Transport). Rechts im Bild reichen die Blockgletscher der Generation II bis an den See heran; die Halbinsel im See wird von Blockgletscherwällen der Generation III gebildet. In der Bildmitte der Vulkanpfropfen 'El Ombligo'. Im Bereich der Schwelle am östlichen Krater rand erkennt man zwischen den rahmenden Bergflanken auf der Schwelle selbst (beiderseits der Straße) Gletscherschliffe und streifig angeordnete Grundmoränenschleier der M III 1 + 2-Vergletscherung. Aufnahme: Cia Aerofoto Mexicana, 2. 6. 1954.

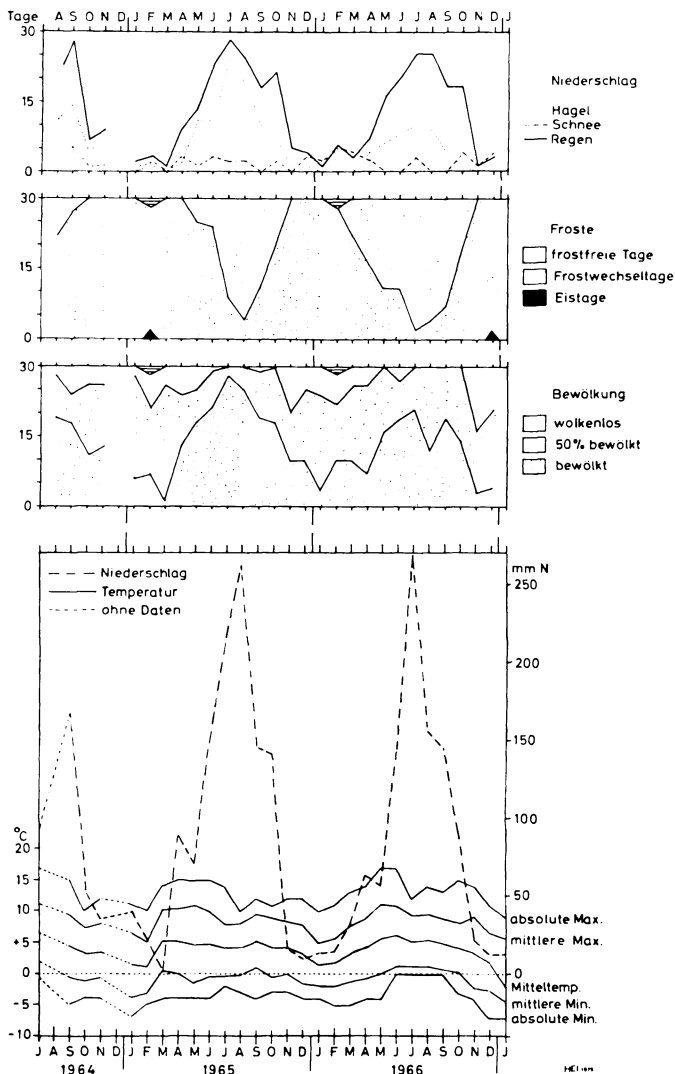


Fig. 4. Daten der Klimastation (4120 m) des Nevado de Toluca nach LORENZO (1969).

Toluca unmittelbar am Fuß steiler Felswände ansetzen (Fig. 3) und nicht — wie auf Bild 3 zu sehen ist — durch eine Schutthalde vom Anstehenden getrennt werden (vgl. Fig. 5). Allerdings werden manche Blockgletscher im Wurzelbereich von einer kleinen rezenten Schutthalde teilweise bedeckt, woraus hervorgeht, daß heute die Blockgletscherbildung nicht mehr fortschreitet, wohl aber die Schutthaldenbildung weiterhin aktiv ist.



Bild 2. Senkrecht-Luftbild des Nevado de Toluca. Vgl. hierzu die morphologischen Skizzen (Fig. 2 und 3). Erläuterungen im Text. Aufnahme: Cia. Aerofoto Mexicana, Datum unbekannt.

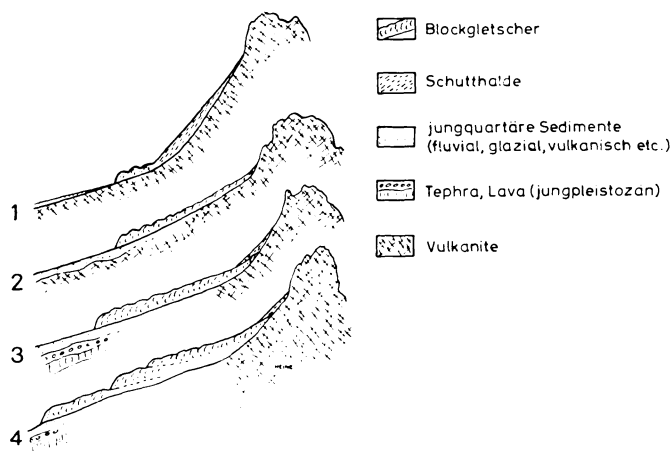


Fig. 5. Blockgletscher-Typen am Nevado de Toluca.

- 1 = Blockgletscher unterhalb größerer Schutthalden,
- 2 = Blockgletscher unterhalb von steilen Felswänden, meist auf drei Seiten von Hängen umgeben,
- 3 = wie Typ 2, jedoch mit subrezenter bis rezenter Schutthaldenbildung an der Blockgletscherwurzel,
- 4 = Blockgletscher-Generationen.

Die Bildung der Blockzungen, die ihre größte Verbreitung in den Gebirgen der Subtropen haben dürften [ØSTREM 1974; WILHELM 1975], ist vor allem auf die intensive physikalische Verwitterung im Bereich der Frostschuttzone zurückzuführen; besonders schuttreiche Gletscher neigen zur Bildung von Blockzungen. Daß die Blockzungen am Nevado de Toluca während Zeiten aktiver Bewegungsvorgänge am oberen Ende eine weniger mächtige Moränenauflage hatten, geht aus den Wurzelhohlformen hervor, wie sie für zerfallende Gletscher typisch und in *Bild 2* und *4* zu erkennen sind. Stromab ordnet sich das Blockmaterial in Fließwülsten an. Nach WILHELM [1975] ist die gesamte aktive Blockzunge von Gletschereis unterlagert, das durch den Gesteinschutt vor stärkerer Ablation geschützt wird. Die Blockzungen des Nevado de Toluca sind heute nicht mehr eisunterlagert. Das Toteis ist ausgeschmolzen, wodurch — je nach früherer Eisdicke — an der Oberfläche der Blockzungen Hohlformen entstanden, die die Fließwulst-Struktur mitunter noch verstärken konnten, da im unteren Bereich der ehemaligen, aktiven Blockzungen isolierte Toteislinsen gelegen haben [WILHELM 1975].

4. Das Alter der Blockströme

Da es sich bei den Blockströmen am Nevado de Toluca um inaktive Formen handelt, stellt sich die Frage nach dem Alter der Blockgletscher und Blockzungen. Bereits aufgrund des sehr unterschiedlichen Erhaltungszustandes der Blockströme lassen sich drei Altersgruppen unterscheiden (*Tab. 1, Bild 4*).

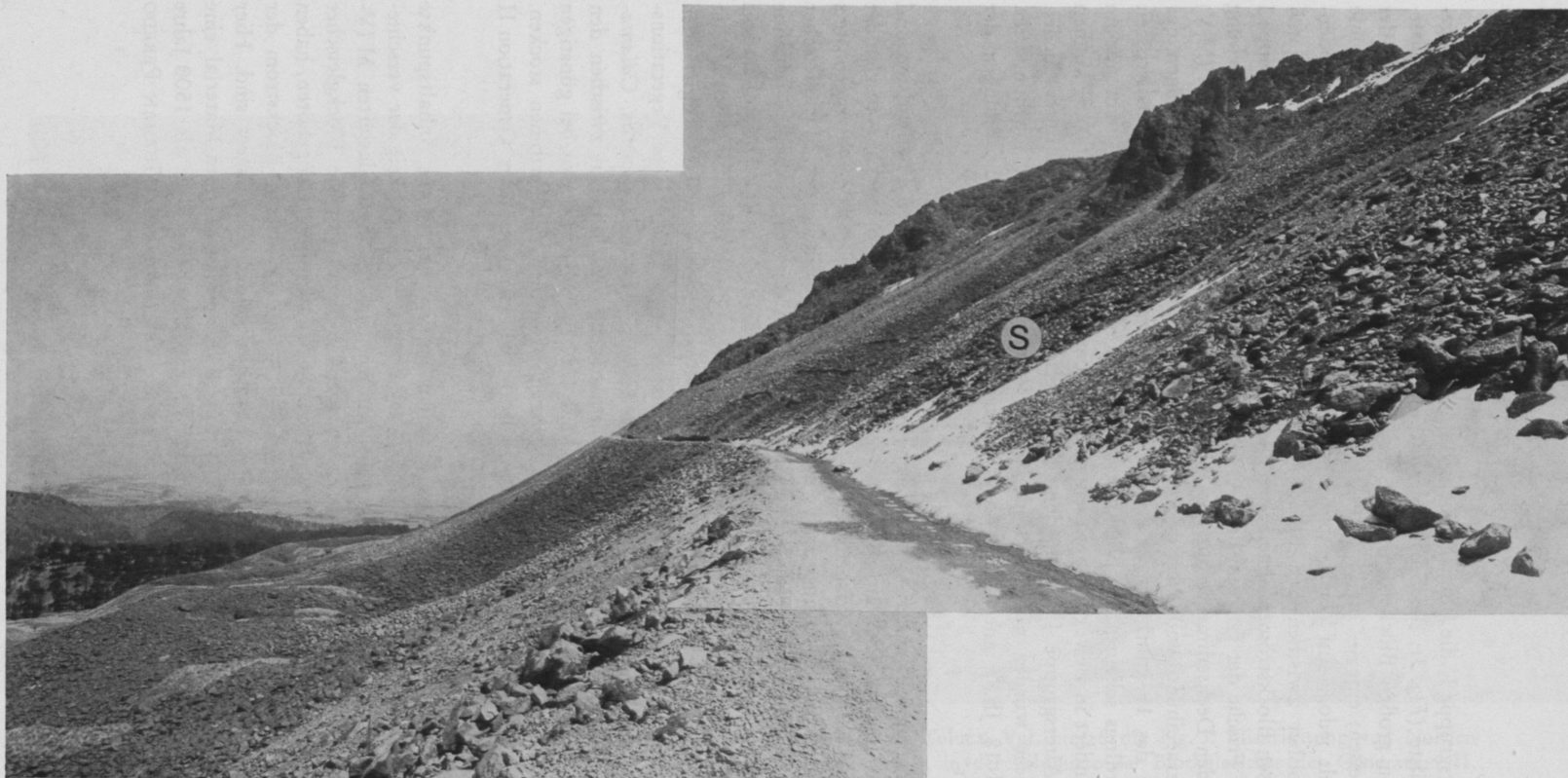


Bild 3. Kleiner Blockgletscher der Generation I unterhalb einer Schutthalde am Nordosthang des Nevado de Toluca. Die dunkleren Partien im Bereich der Schutthalde zeigen an, wo rezente Bewegung infolge schwerkraftbedingten Transports stattfindet. Man beachte die Verbauungen(S).

Aufnahme: HEINE, 16. 3. 1975.

(1) Die Altersgruppe I, die jüngste Blockstrom-Generation, zeigt stets deutlich ausgebildete Fließwülste (Fig. 3); die Stirnwälle haben oft Neigungen über 30° . Die Oberfläche wird von großen Blöcken gebildet, die einen geringen Flechtenbewuchs an der Oberseite aufweisen; eine — im Bereich des Nevado de Toluca — häufig auftretende Flechtenart fehlt jedoch auf den Gesteinen der Blockstrom-Generation I. Eine Bodenbildung fand bisher zwischen den Blöcken nicht statt; auch wurden keine jüngeren Tephra auf diesen Blockströmen abgelagert. Die Ähnlichkeit des Materials der Gruppe I hinsichtlich der Frische der Formen, des Verwitterungsgrades, der Vegetationsbedeckung und der fehlenden Decksedimente mit dem Moränenschutt der jüngsten Moränen (M V) der Vulkane Iztaccíhuatl und Pico de Orizaba [HEINE 1975], die als Bildungen der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ermittelt wurden, läßt auf eine Gleichaltrigkeit schließen. Allerdings scheinen die Blockgletscher der jüngsten Generation nicht nur im vorigen Jahrhundert in Bewegung gewesen zu sein, denn am Nordhang (Fig. 3) können innerhalb der Altersgruppe I verschiedene Blockgletscher morphologisch unterschieden werden; vielleicht wurden manche Blockgletscher bereits in früheren Jahrhunderten aktiv (17. und 18. Jh.); auch die frühen Stadien der Gruppe I sind Bildungen der „Kleinen Eiszeit“.

(2) Die Altersgruppe II umfaßt Blockströme mit charakteristischen Fließwülsten und Stirnwällen, die deutlich erkennbar (Bild 2), jedoch nicht mehr so markant ausgebildet sind wie bei der jüngsten Altersgruppe; die Hangneigungen der Wälle betragen stets unter 30° . Größere Blöcke können noch häufig an der Oberfläche der Blockgletscher auftreten; sie sind immer mit Flechten bewachsen; die bei der Altersgruppe I fehlende grüne Flechtenart ist nun regelmäßig zu finden. Die Mächtigkeit des Andosol-Bodens („Humic ,Allophane Soil“, Volcanic Ash Soil“) auf dem Blockstromschutt beträgt im Durchschnitt 10 cm, kann aber — bei Bildung von Rasenterrassen und Rasengirlanden — auch über 30 cm an stärker geneigten Stellen betragen. Eine geschlossene Vegetationsdecke aus „Zacatonales“ [LAUER 1973] mit den Gräsern *Festuca tolucensis*, *Calamagrostis tolucensis* und *Mühlenbergia quadridentata* bedeckt das Material zwischen den größeren Blöcken. In tieferen Lagen (bis maximal 4200 m Höhe) können bei günstigen Standortverhältnissen auch Kiefern (*Pinus hartwegii*) auf den Blockströmen stocken. Jüngere Tephra-Ablagerungen wurden nicht auf den Blockströmen der Generation II gefunden.

Die absolute Altersermittlung ist schwierig, denn es gibt nur wenig Anhaltspunkte dafür. (a) Die Geländebefunde ergeben (s. Tab. 1) eine große Ähnlichkeit der verschiedenen Merkmale mit den Charakteristika der auf ca. 2000 a B. P. datierten MIV-Moränen [HEINE 1975] der anderen mexikanischen Vulkane. (b) Die Blockgletscher im Bereich des Kraters des Nevado de Toluca, die der Altersgruppe II angehören, haben teilweise Bims/Andesit-Tephra eingearbeitet (Fig. 6), die dem älteren Blockstrom der Altersgruppe III, der eine Halbinsel in dem Kratersee bildet, aufgelagert sind. Hier ergibt sich aufgrund der Beziehungen der Blockströme zu dem Tephra-Material eine differenzierte stratigraphische Lage. Das Tephra-Material scheint älter als 1500 Jahre zu sein, denn archäologische Untersuchungen im Kratersee ergaben [GUZMAN PEREDO



Bild 4. Blockgletscher-Generation (I, II und III) am Nordhang des Nevado de Toluca. Vgl. hierzu die Fig. 3. Blickrichtung von Norden nach Süden. Vorn zwei Wälle und eine Rinne der Blockzunge (Generation III), in der Bildmitte der Blockgletscher der Generation II, rechts im Bild unterhalb des Gipfels der Blockgletscher der Generation I. Die seitlichen Rinnen (R) zwischen den Blockgletschern (I und II) und den Hängen sind deutlich ausgebildet. Die unterschiedlichen Blockstromoberflächen (vgl. Tab. 1) sind gut zu erkennen. Aufnahme:

HEINE, 19. 2. 1975.

1972], daß verschiedene Kultgegenstände, die ein maximales ^{14}C -Alter von 1500 a. B. P. haben, in einem weichen Schlamm bis zu 0,6 m Tiefe am Boden des Sees eingelagert sind, der das Bims/Andesit-Material abzudecken scheint. Auch sind keine Berichte über Eruptionen des Nevado de Toluca aus präspanischer oder kolonialer Zeit bekannt. Das in die Blockgletscher eingearbeitete Bims/Andesit-Material ergibt jedoch wenig konkrete Anhaltspunkte für die Datierung, da der Tephra-Horizont altersmäßig nicht bestimmt werden kann und da die Blockgletscher der Generation II das vulkanische Lockermaterial auch erst lange nach dessen Förderung aufgenommen haben können. Die Datierung der Blockstrom-Generation II auf ca. 2000 a. B. P. als korrelierte Bildungen zu den M IV-Moränen ist daher sehr hypothetisch.

(3) Die Altersgruppe III wird fast ausschließlich von Blockzungen gebildet, die aus kleinen, sehr schuttreichen Gletschern hervorgegangen sind. Die Oberflächenformen (Fließwülste, Stirnwälle) sind verwaschen; Blöcke befinden sich nicht mehr auf den Schuttwällen (*Bild 4*). Verschiedene Anschnitte zeigen, daß sowohl im Bereich des Kraters (*Fig. 6*) als auch an den Nord- und Nordwesthängen des Gipfelbereichs eine dünne, jedoch differenzierte Abfolge aus Decksedimenten die Blockzungen überlagert. Ein Bims/Andesit-Horizont bedeckt den Schutt, es folgt ein Andosol-Boden von oft über 0,2 m Mächtigkeit; darauf liegt ein weiteres Andesit/Bims-Band, das ca. 3–5 cm am Nordwest-Hang und im Krater ca. 8 cm dick ist; das Deckschichten-Profil wird vom rezent weitergebildeten Andosol-Boden von unterschiedlicher Mächtigkeit aufgrund rezenter Hangversetzungen abgeschlossen. Die Blockzungen der Gruppe III haben stets eine dichte Vegetationsdecke aus *Festuca tolucensis*-Gräsern, zu denen sich andere hartblättrige Gräser, Polsterpflanzen und verschiedene niedrige Stauden gesellen. Im Bereich der oberen Waldgrenze findet man häufig *Pinus hartwegii* auf den Blockzungen.

Eine relative Altersbestimmung der Blockstrom-Generation III ergibt sich aus den Geländebeobachtungen (*Tab. 1*); danach ist diese Generation einerseits wesentlich älter als die Gruppe II, andererseits aber jünger als die Moränen M III 1+2, die am Nevado de Toluca viele glazial überformte Täler als Ufermoränen begleiten oder als Mittelmoränen gliedern (*Fig. 2*). Zur Zeit der Bildung der M III 1+2-Moränen war der Krater des Vulkans mit Eis angefüllt, das über eine Schwelle (über diese führt heute die Fahrstraße in den Krater) nach Osten abfloß; die Ufermoränen am Ausgang des Krater-Ovals sind auf dem Luftbild am unteren Rand zu erkennen (*Bild 2*). Die Moränen M III 1+2 konnten an der Malinche datiert werden [HEINE 1975]; sie wurden vor ca. 10 000–9 000 a. B. P. gebildet. Geht man davon aus, daß die Blockzungen der Generation III aus schuttreichen Gletschern hervorgegangen sind, so liegt die Vermutung nahe, daß die dazugehörige Vergletscherung an dem 4558 m hohen Vulkan nur noch während des Übergangs von pleistozänen zu holozänen Klimabedingungen möglich gewesen ist. In diesen Zeitabschnitt fällt die Bildung einer kleinen Moränengruppe (M III 3) am Malinche-Vulkan [HEINE und OHNGEMACH 1976; HEINE 1976], die nur dort aufzufinden ist, wo sich aufgrund der Reliefverhältnisse (Glatthänge) ein schuttarmer Gletscher ausbilden konnte. Die Moränen M III 3 der

Tab. 1. Die Blockstrom-Generationen des Nevado de Toluca im Überblick

Blockstrom- Generation	Relief	Boden- bildung	Vegetation auf Blöcken Boden		Deck- schichten	Alter, vermutet	Bemerkungen zur Datierung
I	Blockgletscher mit Fließwülsten und Stirn- wällen, Hangneigungen oft um 30°; nur Blöcke an Oberfläche	fehlt	kleine Flechten, grüne Art fehlt	—	—	„Kleine Eiszeit“ bis ca. 1900 A. D. aktiv	Morphologie (Frische der Formen), Bodenbil- dung, Deckschichten, Vegetation sind den M V-Moränen von Iztaccihuatl und Pico de Orizaba ähnlich
II	Blockgletscher mit Fließwülsten und Stirn- wällen, Hangneigungen in der Regel unter 30°; Blöcke und Boden an Oberfläche; Block- zungen?	Andosol, etwa 10 cm mächtig	graue und grüne Flech- ten, Moose	Zacatonales	— Bims/Andesit- Tephra mitunter eingemengt	ca. 2000 a B. P. (und ca. 3000 a B. P.?)	Übereinstimmung hin- sichtlich Bodenbildung, Vegetation und Deck- schichten mit den M IV- Moränen anderer Vulkane
III	Blockzungen mit ver- waschenen Fließwülsten, keine Stirnwälle mehr erkennbar, ohne Blöcke an Oberfläche	Andosol, 20 cm und mehr mächtig, viel Fein- material im Schutt	—	Zacatonales, in tieferen Lagen mit <i>Pinus</i> <i>hartwegii</i>	Abfolge aus: Boden Bims/Andesit Boden Bims/Andesit	< 9000 a B. P. > 8000 a B. P.	möglicherweise korrelierbar mit M III 3-Moränenstadium der Malinche

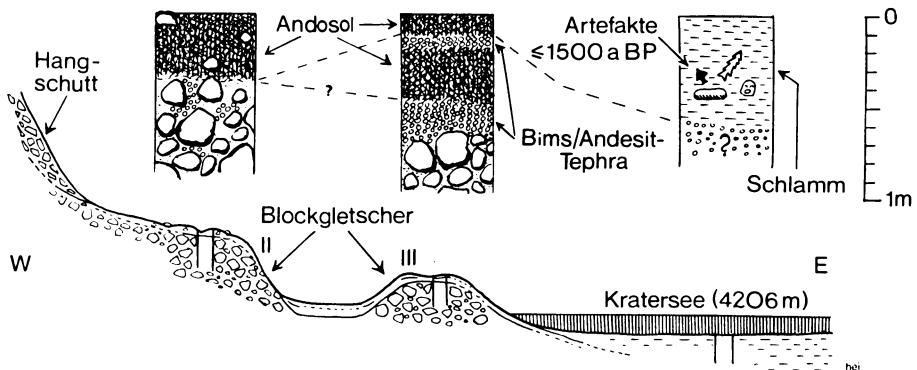


Fig. 6. Profil der Blockgletscher-Generationen II und III im Bereich des Kraters des Nevado de Toluca.

Malinche haben ein Alter zwischen <9000 und >8000 a B. P. In diese Zeit könnte man die Bildung der Blockzungen-Generation III stellen. Die schuttreichen Gletscher mit Blockzungenbildung wären dann gleichaltrig mit den schuttarmen Gletschern der Malinche, die die M III 3-Moränen zurückließen. Ein Alter der Blockzungen-Generation III von ca. 8500—9000 a B. P. ist sehr wahrscheinlich, da palynologische Forschungen [HEINE und OHNGEMACH 1976] ergaben, daß die pleistozänen Vegetationsverhältnisse erst — jedoch sehr plötzlich — um 8500 a B. P. von den holozänen abgelöst wurden. Im Holozän gibt es keine Anzeichen für Klimaänderungen, die eine so tief reichende Vergletscherung, wie sie zur Zeit der Blockzungenbildung (Generation III) existierte, erklären würde.

5. Weitere Beobachtungen über Blockgletscher und Blockzungen in Zentralmexiko

Blockgletscher vom Typ 1 der Fig. 5 sind auch am Vulkan der Malinche ausgebildet; deren Alter läßt sich dort nicht genau ermitteln, doch lassen die morphologischen Verhältnisse, die stratigraphischen Beziehungen zu den Malinche-Förderfolgen, die Bodenbildung und Vegetationsbedeckung auf den Blockgletschern sowie ihre absolute Höhenlage auf eine Zugehörigkeit zur Altersgruppe der Generation II (ca. 2000 a B.P.) schließen. Jüngere Blockgletscher scheint es am Malinche-Vulkan nicht zu geben. Die Blockstrom-Generation III des Nevado de Toluca darf sehr wahrscheinlich mit den Moränen M III 3 der Malinche parallelisiert werden. Ob am Malinche-Vulkan neben den schmalen Ufer- und Endmoränen (M III 3) auch gleichzeitig Blockzungen (und Blockgletscher?) vor ca. 8500—9000 a B.P. gebildet wurden, ließ sich nicht nachweisen; Voraussetzungen für schuttreiche Gletscher mit Blockzungenbildung bieten allein die

Nord- und West-Hänge des Vulkans. Verschiedene Gebiete mit hügeligem Relief haben Ähnlichkeit mit den fossilen Blockzungen der Generation III des Nevado de Toluca. Am Malinche-Vulkan sind diese Hügel jedoch von recht mächtigen Bimsschichten bedeckt, so daß das liegende Material nicht aufgeschlossen ist. Aufgrund der Deckschichtenabfolge aus verschiedenen Bimshorizonten mit einem zwischengeschalteten fossilen Andosol-Boden, der ein ^{14}C -Alter von 7000—8000 a B.P. hat [HEINE 1975], muß mit einem Alter von mehr als rund 8000 a B.P. bei den liegenden Sedimenten gerechnet werden.

Die jüngsten Beobachtungen zum jungpleistozänen Vergletscherungstyp des Malinche-Vulkans haben ergeben, daß zumindest im Bereich der aus einer großen Schlucht nach Osten abgeflossenen Gletscher Blockzungen ausgebildet waren. Die Talgletscher der M III 1+2-Vergletscherung vor ca. 9000—10 000 a B.P. und der M II-Vergletscherung ca. 12 000 a B.P. [HEINE 1975] werden durch mächtige Schuttablagerungen am Ausgang der Schlucht in Höhen um 3000 bzw. 2900—2700 m charakterisiert, die früher teilweise als Grundmoränen gedeutet wurden [HEINE 1973].

Jungpleistozäne Gletscher mit Blockzungen scheint es auch am Nevado de Toluca, am Pico de Orizaba und im Bereich der Sierra Nevada (Iztaccíhuatl und Popocatepetl) gegeben zu haben³⁾. Die Untersuchungen hierüber sind noch nicht abgeschlossen. Erste Resultate lassen erkennen, daß am Malinche-Vulkan die Blockzungenbildung möglicherweise erst verstärkt bei den jungpleistozänen Gletschern einsetzte, als diese nicht mehr ausreichend ernährt wurden, d. h. gegen Ende der jeweiligen Vergletscherungsphase. Hier haben sicherlich Veränderungen der Niederschlags- und Bewölkungsverhältnisse (Strahlung) einerseits zum Gletscherrückzug, andererseits zur verstärkten Blockzungenbildung geführt.

In zwei Fällen läßt sich am Malinche-Vulkan durch Bimsbedeckung und Bimseinlagerung bei Moränen- bzw. Blockzungenschutt ein- und derselben Vergletscherungsphase nachweisen, daß das Blockzungenschutt noch in Bewegung war, als der Gletscher bereits stark zurückschmolz. Hier spiegeln sich demnach Verhältnisse wider, wie sie KLAER [1974] aus Vorderasien beschreibt, daß nämlich Blockzungen aufgrund ihrer lange anhaltenden Mobilität (infolge der Einlagerung von Toteisblöcken) noch wandern können, wenn die zeitlich vergleichbaren Moränen aufgrund ihrer immobilen Eigenschaften bereits festliegen und vom Gletscher nicht mehr weiter ausgestaltet werden. Im Jungpleistozän finden wir an den mexikanischen Vulkanen gegen Ende der einzelnen Vergletscherungsphasen Gletscher von dem Typ, wie sie von KLAER [1974] und GRÖTZBACH [1965] — um nur zwei Autoren zu nennen — aus Vorderasien beschrieben werden. In Mexiko ist der Gletschertyp mit Blockzungenbildung jedoch nur

³⁾ Die rezente Vergletscherung der drei höchsten Vulkane Mexikos zeigt keine Blockzungenbildungen. Auch zur Zeit der Gletscherhochstände im vergangenen Jahrhundert bildeten sich weder Blockzungen im Bereich der Gletscherenden noch Blockgletscher unterhalb der oft über 100 m hohen Endmoränen aus.

ausgebildet, wenn die Reliefverhältnisse an den Vulkanhängen eine starke seitliche Schuttfzufuhr zum Gletscher hin erlaubten; das war nur bei wenigen der bisher rekonstruierten jungpleistozänen Gletscher der Fall.

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1. Klimaänderungen

Aus den Befunden geht hervor, daß die Blockströme des Nevado de Toluca, die altersmäßig drei Generationen angehören, verschiedene Klimaänderungen widerspiegeln. Es zeigt sich, daß die älteste Generation (III) noch \pm pleistozäne Verhältnisse anzeigt, während die beiden jüngeren Generationen Klimaschwankungen des Holozäns verkörpern. Für das Holozän konnten bereits um 2000 a. B.P. kühlere und feuchtere Bedingungen für das zentralmexikanische Hochland nachgewiesen werden [KLAUS 1973; HEINE 1975]. Aufgrund meiner jüngsten Untersuchungen ist nicht auszuschließen, daß auch um ca. 3000 a. B.P. zumindest feuchtere Bedingungen an den hohen Vulkanen Mexikos herrschten, denn mächtige Murablagerungen konnten an der Nordflanke des Malinche-Vulkans datiert werden; eingelagerte Holzkohle ergab ein Alter von 3075 ± 395 (Hv 5813) ^{14}C -Jahren B.P.⁴⁾. Die Muren konnten an dem relativ sanft geneigten Hang vom Gipfelbereich (4461 — ca. 4000 m) bis in Höhen unterhalb von 2900 m nur abfließen, wenn sie stark mit Wasser durchtränkt waren. Damit ergeben sich erste Anhaltspunkte für verschiedene kleinere Klimaschwankungen für den Zeitabschnitt um ca. 3000—2000 a. B.P. Sehr wahrscheinlich wurden zu dieser Zeit die Blockströme der Generation II aktiv.

Die jüngsten Blockströme (Generation I) bewegten sich während der „Kleinen Eiszeit“ hangabwärts, wobei die Fließvorgänge sicherlich bis zum Ende des vergangenen Jahrhunderts anhielten, wie ein Vergleich des Blockstrommaterials mit den Moränen des vergangenen Jahrhunderts ergibt.

Die drei Blockstrom-Generationen lassen sich dem bisher erarbeiteten Klimagang für Zentralmexiko zuordnen; sie zeigen gleichzeitig aber auch, daß aufgrund der Blockstrombildung nicht mit weiteren, einschneidenden Klimaänderungen während des Holozäns zu rechnen ist.

Über das Ausmaß der Klimaänderungen geben die Blockströme ebenfalls Auskunft. Die Blockgletscher der jüngsten Generation (I) belegen, daß noch während des vergangenen Jahrhunderts mehrjährige Schneeablagerungen am Nevado de Toluca bestanden haben müssen, aus denen durch Vorgänge der Schneemetamorphose oder Diagenese Blockgletschereis entstand. Die Beobachtungen und Berichte aus vergangenen Jahrhunderten sowie glazialmorphologische Studien [HEINE 1975] belegen für die Vulkane Popocatepetl (5452 m) und Iztaccíhuatl (5286 m) wesentlich größere Gletscher während der „Kleinen Eiszeit“. Für den Nevado de Toluca weist neben dem Namen selbst

⁴⁾ Herrn Professor Dr. M. A. GEYH, Leiter des ^{14}C - und ^3H -Laboratoriums der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover, möchte ich für Datierungen herzlich danken.

(„Nevado“) ein Bericht aus dem 16. Jahrhundert auf „einen verschneiten Gipfel hin, der das ganze Jahr über Schnee hat“ [GUZMAN PEREDO 1972]. Für das 17. und 18. Jahrhundert müssen in Analogie zu den hohen Seespiegelständen des Texcoco-Sees im Hochtal von Mexiko-Stadt ebenfalls günstige Verhältnisse für Blockgletscherbildungen angenommen werden. Eine Temperaturerniedrigung der Sommermonate von vermutlich $-1,75^{\circ}\text{C}$ gegenüber heute [KLAUS 1973] während der „Kleinen Eiszeit“ erscheint auch aufgrund der Blockgletscherbildungen möglich. Nach BARSCH [1969 b] liegen die Blockgletscher, d. h. die Zonen gefrorenen Schuttes, deutlich unterhalb der Schneegrenze im oberen Teil der subnivalen Höhenstufe; BARSCH [1969 b] deutet die Blockgletscher der Alpen deshalb als eine Form des periglazialen und nicht des glazialen Bereiches; Permafrost (Bodengefrornis) ist für ihre Bildung und Bewegung nach BARSCH [1969 b] erforderlich. Diese Deutung kann für Mexiko nur eingeschränkt gelten, denn zur Zeit der aktiven Blockgletscher der Generation I („Kleine Eiszeit“) reichte der Gipfel des Nevado de Toluca nicht mehr über die Schneegrenze; so zeigen denn auch nur die Bergmassive Mexikos, die weit über 5000 m Höhe erreichen und damit in der „Kleinen Eiszeit“ stark vergletschert waren, Moränenwälle vom Gletscherhochstand aus dem vergangenen Jahrhundert. Aufgrund der glazialmorphologischen Forschungen muß eine Schneegrenzdepression von ca. 300 m angenommen werden, so daß die Schneegrenze noch um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts bei ca. 4700 m Höhe lag (4900 bis 5100 m wird von LAUER [1973] für die rezente Schneegrenze angegeben); zur gleichen Zeit reichten die Gletscher an den höchsten Vulkanen bis ca. 4400 m Höhe herab. Benutzt man die Schneegrenzlage in ca. 4700 m Höhe zur Ermittlung der subnivalen Höhenstufe für die „Kleine Eiszeit“, so erhält man Werte über 4400 m. In diesem Höhenbereich liegen am Nevado de Toluca die Wurzelabschnitte der jüngsten Blockgletscher-Generation. Die hypothetische Temperaturerniedrigung für die Sommermonate von $-1,75^{\circ}\text{C}$ für die „Kleine Eiszeit“ reicht aber nicht aus, um Bodengefrornis (Permafrost) in den Bereichen des Nevado de Toluca zu bewirken (vgl. Fig. 4), in denen die Blockgletscher des vergangenen Jahrhunderts auftreten. Ihre Bildung und Bewegung läßt sich nur durch das gleichzeitige Akkumulieren von Blöcken (als Folge der physikalischen Verwitterung) und Eis (als Folge der Umwandlung von Schnee und Firn) an den Hängen unterhalb der schroffen Felsen erklären. Die Blöcke verminderten die Ablation in dem Blockschutt/Eis-Gemisch so sehr, daß es zur Akkumulation von eisdurchsetzten Blockhalden kam; Bewegungsvorgänge wurden somit möglich, ohne daß in der entsprechenden Höhenstufe Permafrost mehrere Meter tief in den Boden eindrang.

Für die Zeit der MIV-Vergletscherung vor ca. 2000 a. B.P. nimmt KLAUS [1973] eine hypothetische Erniedrigung der Sommertemperaturen von $3,0^{\circ}\text{C}$ an. Das würde unter der Annahme einer Verschiebung der subnivalen Höhenstufe um ca. 600 m gegenüber heute bedeuten, daß die Blockstromgeneration II am Nevado de Toluca wesentlich weiter hangabwärts gereicht haben müßte, als das in Wirklichkeit der Fall ist. Die Blockgletscherverbreitung läßt auf eine nur ca. 500–450 m tiefer gelegene subnivale Stufe (gegenüber heute) schließen, was bedeutet, daß die Vulkane des Nevado de Toluca und der Malinche, für die eine geringe Hangvergletscherung der nach Norden weisenden

Gipfelbereiche angenommen wird [HEINE 1975] und zwar für die Zeit um ca. 2000 a B P., während eben dieser Zeit gletscherfrei waren. Dieses Problem konnte bisher nicht befriedigend gelöst werden, da manche Blockströme nicht zweifelsfrei entweder der Gruppe der Blockgletscher oder der Gruppe der Blockzungen zugeordnet werden konnten. Handelt es sich nämlich ausschließlich bei den Blockströmen der Generation II um Blockgletscher, so muß die Frage nach der Vergletscherung der Vulkangipfel verneint werden; sind aber auch Blockzungen unter den Blockströmen der Generation II, so lägen damit Beweise für eine echte Vergletscherung vor, auch wenn es sich um sehr schuttreiche Hanggletscher gehandelt hätte. Hier sind weitere Geländeforschungen notwendig.

Die Blockzungen der Generation III belegen eine Erniedrigung der Schneegrenze um ca. 750 m auf rund 4250 m Höhe. Dies entspräche einer hypothetischen Temperaturerniedrigung während der Sommermonate von über 3,0 °C. Dieser Wert erscheint nicht unrealistisch, da die Bildung der Blockzungen den Übergang von pleistozänen zu holozänen Klimabedingungen repräsentiert.

6.2. Morphologische Folgerungen

Die beschriebenen Beobachtungen bestätigen die Forschungsergebnisse von GRÖTZBACH [1965] und OUTCALT and BENEDICT [1965], daß Blockströme im wesentlichen auf zwei Entstehungsursachen zurückzuführen sind (vgl. auch SCHWEIZER 1968; WILHELM 1975): (a) Unabhängig von aktiven Gletschern als reine Schuttbewegung, die der der Gletscher ähnlich ist, was zur Bildung von Blockgletschern führt Voraussetzung sind steile Felswände, von denen die Blockgletscher mit Schutt versorgt werden; Eis in Zwischenräumen, das die Bewegung solcher Blockgletscher verursacht ist durch Umbildung von Schnee entstanden, der unter den herabstürzenden Schuttmassen begraben wird. (b) Aus einer sehr kräftigen Moränenanhäufung gegen das Zungenende von Gletschern, was zur Bildung von Blockzungen führt. Die Blockzungen haben in den Gebirgen der Subtropen eine weite Verbreitung; aus Mexiko wurden sie bisher noch nicht beschrieben, da sich dort die Verbreitung im Holozän auf den Nevado de Toluca und den Malinche-Vulkan(?) zu beschränken scheint, da nur diese beiden Gebirge die zur Blockzungenbildung notwendigen Reliefbedingungen aufweisen, d. h. nur sie bildeten schuttreiche Gletscher aus. Die jungpleistozänen Gletscher der mexikanischen Vulkane konnten ebenfalls gegen das Zungenende durch mächtige Moränenauflagen zu Blockzungen umgestaltet werden; häufig scheinen sich bei diesen auch — wie die jüngsten Untersuchungen ergaben — Blockzungen und Stirnmoränen wechselseitig zu vertreten. Auf den großen Schuttreichtum mancher jungpleistozäner Gletscher der mexikanischen Vulkane wurde bereits früher hingewiesen [HEINE 1973].

Hinsichtlich der holozänen Blockgletscher, die hiermit zum ersten Mal aus Mexiko beschrieben werden, ergeben die eigenen Beobachtungen ebenfalls eine Bestätigung der Untersuchungen von GRÖTZBACH [1965] bzw. der Zusammenschau von WILHELM [1975]. Auch die Feststellung von BARSCH [1969 a] wird bestätigt, daß die Blockgletscher als Leitform der subnivalen Stufe der Hochgebirge gelten, wie ihr Auftreten

unterhalb der ihnen zeitlich entsprechenden Endmoränen beweist; das gilt sowohl für die jüngere Vergangenheit in den Alpen [BARSCH 1969 a], als auch für die letzte Kaltzeit, für die MENSCHING [1953] im Hohen Atlas von Marokko gezeigt hat, daß die Blockgletscher stets unterhalb der Endmoränen der ehemaligen Gletscher auftreten.

Die ersten Beobachtungen an Blockströmen in Mexiko ergänzen somit unsere Vorstellungen über Blockgletscher und Blockzungen, da sie eine Beobachtungslücke im subtropisch/semiarid geprägten Klimabereich auszufüllen helfen.

Literatur

- BARSCH, D. 1969 a: Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin. Z. f. Geomorph., N. F. Supplementband. 8 (1969), pp. 11—30.
- BARSCH, D. 1969 b: Permafrost in der oberen subnivalen Stufe der Alpen. Geogr. Helvetica. 24 (1969), pp. 10—12.
- BLOOMFIELD, K.; S. VALASTRO 1974: Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. Bull. Geol. Soc. Amer. 85 (1974), pp. 901—906.
- GRÖTZBACH, E. 1965: Beobachtungen an Blockströmen im afghanischen Hindukusch und in den Ostalpen. Mitt. Geogr. Ges. München. 50 (1965), pp. 175—201.
- GUZMAN PEREDO, M. 1972: Arqueología subacuática. Artes de México. No. 152 (1972), pp. 49—68 (Los Lagos del Nevado de Toluca). México.
- HEINE, K. 1973: Die jungpleistozänen und holozänen Gletschervorstöße am Malinche-Vulkan, Mexiko. Eiszeitalter und Gegenwart. 23/24 (1973), pp. 46—62.
- HEINE, K. 1975: Studien zur jungquartären Glazialmorphologie mexikanischer Vulkane, mit einem Ausblick auf die Klimaentwicklung. Das Mexiko-Projekt der DFG. 7. Wiesbaden. Pp. 1—178.
- HEINE, K. 1976: Schneegrenzdepressionen, Klimaentwicklung, Bodenerosion und Mensch im zentralmexikanischen Hochland im jüngeren Pleistozän und Holozän. Z. f. Geomorph. N. F. Supplementband 24 (im Druck).
- HEINE, K.; D. OHNGEMACH 1976: Die Pleistozän/Holozän-Grenze in Mexiko. Münster. Forsch. Geol. Paläont. (im Druck).
- HÖLLERMANN, P. 1964: Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentales (Ortlergruppe). Z. f. Geomorph., N. F. Supplementband. 4 (1964), pp. 1—257.
- JOHNSON, P. G. 1974: Mass movement of ablation complexes and their relationship to rock glaciers. Geogr. Annaler. 56 A (1974), pp. 93—102.
- KLAER, W. 1974: Kritische Bemerkungen zur neueren Literatur über das Blockgletscherproblem. Heidelberg. Heidelberger Geogr. Arb. 40 (HANS-GRAUL-Festschr.). Pp. 275—291.
- KLAUS, D. 1973: Die eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Klimaschwankungen im zentralmexikanischen Hochland und ihre Ursachen. Erdkunde. 27 (1973), pp. 180—192.
- LAUER, W. 1973: Zusammenhänge zwischen Klima und Vegetation am Ostabfall der mexikanischen Meseta. Erdkunde. 27 (1973), pp. 192—213.
- LORENZO, J. L. 1969: Condiciones periglaciares de las altas montañas de México. México. INAH, Dept. de Prehistoria, Paleoecología. 4, pp. 1—45.

- MENSCHING, H. 1953: Morphologische Studien im Hohen Atlas von Marokko. Würzburg. Würzburger Geogr. Arb. 1. Pp. 1—104.
- MOOSER, F. 1969: The Mexican Volcanic Belt, Structure and Development. Formation of Fractures by differential Crustal Heating. Mexico. Simp. Panamer. Manto Superior (International Upper Mantel Symposium) 22 B. Pp. 15—22.
- ØSTREM, G. 1974: Present alpine ice cover. In: Arctic and Alpine Environments, J. D. Ives & R. G. BARRY (eds). London. Chapter 4, Sect. C. Pp. 225—250.
- OUTCALT, S. I.; J. B. BENEDICT 1965: Photo-interpretation of two types of rock glacier in the Colorado Front Range, USA. J. Glaciology. 5 (1965), pp. 849—856.
- SCHWEIZER, G. 1968: Der Kuh-e-Sabalan (NW-Iran). Beiträge zur Gletscherkunde und Glazialmorphologie vorderasiatischer Hochgebirge. Tübingen. Tübinger Geogr. Studien. 34 (HERBERT-WILHELMY-Festschr.). Pp. 163—178.
- SMITH, H. T. U. 1973: Photogeologic study of periglacial talus glaciers in northwestern Canada. Geogr. Annaler. 55 A (1973), pp. 69—84.
- WHITE, S. E. 1971: Rock glacier studies in the Colorado Front Range, 1967 to 1968. Arctic & Alpine Res. 3 (1971), pp. 43—64.
- WILHELM, F. 1975: Schnee- und Gletscherkunde. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. III/3. Berlin-New York. Pp. 1—434.

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. Dr. Dr. MANFRED BÜTTNER, Kiefernweg 40, 4630 Bochum

Prof. Dr. KLAUS HEINE, Geographisches Institut der Universität Bonn, Franziskanerstraße 2 (am Stockentor), 5300 Bonn

Dr. HEINRICH VOLLRATH, Technische Universität München, Lehrstuhl für Grünlandlehre. 8050 Freising-Weihenstephan